Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 527-536

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۵۳۶-۵۲۷

کمّی‌سازی نمو برگ در ارقام مختلف گندم: طول عمر برگ

جعفر پوررضا[1]*، افشین سلطانی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹

چکیده

به‌منظور بررسی طول عمر برگ در ارقام مختلف گندم، دو آزمایش مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۵ رقم گندم در رامهرمز طی دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۷ اجرا شد. آزمایش در شرایط عدم محدودیت آب و مواد غذایی انجام شد. برای محاسبه طول عمر برگ از یک مدل لجستیک در دو مرحله استفاده شد. در مرحله اول به‌وسیله این مدل رابطه بین تعداد کل برگ‌های بوته در برابر درجه-روز رشد به‌دست آمد و در مرحله دوم تغییرات تعداد برگ‌های پیر بوته در برابر درجه-روز رشد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد متوسط طول عمر برگ بر اساس واحدهای حرارتی ۴۶۸/۸ درجه روز رشد بود. این نتیجه نشان داد در شرایط مطلوب از نظر حرارت، یک برگ به‌طور متوسط به میزان ۴۶۸/۸ درجه روز رشد دوام دارد. متوسط فیلوکرون (فاصله زمانی بین ظهور دو برگ روی ساقه اصلی) در ارقام برابر با ۸۴ درجه روز رشد بود، که بر این اساس می‌توان گفت متوسط دوام برگ‌های ارقام مورد مطالعه حدوداً ۵/۵ فیلوکرون بود. آگاهی از تفاوت‌های موجود بین ارقام در خصوصیات برگ می‌تواند در اصلاح نباتات، مدیریت گیاه زراعی و مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گندم مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: برگ‌های پیر شده، تعداد کل برگ بوته، درجه روز رشد، سطح برگ، مدل‌سازی

مقدمه

برای افزایش در پتانسیل عملکرد گندم (*Triticum spp* L.) نیاز به افزایش سطح فتوسنتزی در مراحل اولیه رشد به‌منظور دریافت بیشتر تشعشع ورودی به سطح مزرعه و درنتیجه تولید ماده خشک بیشتر است (Benbella and Paulsen, 1998). اهمیت سطح برگ در تعیین سرعت رشد محصول از دیرباز شناخته شده است (Maria *et al*., 2008)، زیرا جذب تابش خورشیدی در غلات عمدتاً توسط پهنک برگ‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین اندام فتوسنتزکننده گیاه انجام می‌شود، از این‌رو بررسی نمو سطح برگ به دلیل اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها به‌ویژه بر عملکرد دانه ضروری به‌نظر می‌رسد (Benbella and Paulsen, 1998). نمو سطح برگ شامل ظهور برگ‌های جدید، گسترش برگ‌هایی که به تازگی ظاهر شده‌اند و پیری برگ‌های مسن می‌باشد (Hofstra *et al*., 1977; Ranganathan *et al*., 2001). روش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی سطح برگ گیاه وجود دارد که شامل روش‌هایی که با ظهور، گسترش و پیری برگ‌های منفرد سرکار دارند (Hofstra *et al*., 1977) تا روش‌هایی که سطح برگ را در سطح کل بوته یا مرزعه پیش‌بینی می‌کنند (Sinclair, 1984) می‌باشند. برخی از پژوهش‌گران از روش‌های حد واسط این دو دسته استفاده می‌کنند (Robertson *et al*., 2002)، بنابراین برای شبیه‌سازی پیش‌بینی مساحت سطح برگ در دسترس برای جذب تابش خورشیدی، لازم است عواملی که تولید برگ، تعداد برگ، اندازه برگ، زوال برگ و طول عمر برگ را تعیین می‌کنند، شناخته شود.

لیزازو و همکاران (Lizaso *et al*., 2003) جهت شبیه‌سازی سطح برگ ذرت (*Zea mays* L.) سه جزء توسعه برگ، دوام برگ و پیری برگ را در ارتباط با زمان حرارتی تجمعی شبیه‌سازی نمودند. دوام برگ به زمان حرارتی بین ۵۰٪ حداکثر توسعه برگ تا ۵۰٪ پیری اطلاق گردید (Lizaso *et al*., 2003). شناسایی تغییرپذیری ژنتیکی سطح برگ یک گام مهم در اصلاح نباتات است (Royo *et al*., 2004). تغییرپذیری ژنتیکی روی عملکرد دانه، محتوای کلروفیل در گلدهی و محتوای پروتئین دانه و همچنین صفات رشد اندازه‌گیری شده روی بوته‌های انفرادی در گندم گزارش شد (Royo *et al*., 2004). سرعت نمو گیاه گندم عمدتاً تابعی از درجه حرارت و طول روز می‌باشد و به‌نظر می‌رسد تنها تصمیماتی که یک زارع برای تأثیرگذاری بر الگوی نمو می‌تواند اتخاذ کند، انتخاب رقم و تاریخ کاشت باشد. در گندم، گسترش برگ به‌عنوان یکی از عوامل تعیین‌کننده انعطاف‌پذیری گیاه در محیط‌های مختلف از طریق خصوصیات رقم جهت تعیین تعداد، سرعت ظهور، اندازه و طول عمر برگ اهمیت می‌یابد. رشد فعال برگ‌ها در مراحل رویشی به‌طور غیر مستقیم بر عملکرد گیاه مؤثر است. در طول مراحل آخر رسیدن دانه‌ها، برگ‌های تحتانی عموماً خشک می‌شوند و ذخیره مواد غذایی در ساقه نیز ناچیز است به همین دلیل سهم آن‌ها در تشکیل دانه

۱- استادیار، گروه کشاورزی، واحد رامهرمز، دانشگاه آزاد اسلامی، رامهرمز، ایران
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*- نویسنده مسئول: Email: j_pourreza@iauramhormoz.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i4.72802

بسیار اندک خواهد بود، بنابراین عملکرد بالقوه گیاه اصولاً بستگی به اندازه، مدت و فعالیت فتوسنتزی اندام‌هایی دارد که پس از ظهور سنبله‌ها هنوز سبز باقی می‌مانند. در بین عملکرد و شاخص سطح برگ و دوام آن همبستگی زیادی وجود دارد، بدین معنی که هرچه دریافت نور خورشید زیادتر و در مدت زمان بیشتری صورت گیرد، تولید ماده خشک و در نتیجه عملکرد دانه بیشتر خواهد بود (Sinclair *et al*., 2004). پیش‌بینی نمو برگ یک قسمت مهم از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است زیرا ظهور و پیری برگ تنها در رابطه با زمان‌بندی مراحل فنولوژیک مشخص نیست بلکه در رابطه با گسترش سطح برگ است که برای جذب نور، تجمع ماده خشک و عملکرد دانه با اهمیت است (Yoshida *et al*., 2007). مفهوم طول عمر برگ در بعضی از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای کمّی کردن پیری برگ بعد از رسیدن زمان حرارتی به یک حد معین به‌کار رفته است (Rickman *et al*., 1996). درباره دوره‌ی زمانی مسن شدن برگ‌های گندم در مزرعه، اطلاعات بسیار اندکی وجود دارد و بیشتر برآوردهای طول عمر برگ به این مشاهده مربوط است که روی ساقه اصلی گیاه گندم ۵-۳ برگ سبز را حداقل تا زمان گرده‌افشانی باقی می‌مانند که یکی در مراحل اولیه توسعه، یکی کاملاً توسعه‌یافته و یک تا سه برگ در حال پیر شدن هستند (Wiegand *et al*., 198; Hay and Wilson, 1982). در مورد طول عمر برگ در سایر گیاهان، آرکین و همکاران (Arkin *et al*., 1983) گزارش کردند که طول عمر برگ در بین ارقام مختلف سورگوم (*Sorghum bicolor*) تفاوتی ندارد، همچنین سلطانی و همکاران (Soltani *et al*., 2006) نیز در گیاه نخود (*Cicer arietinum*) گزارش کردند که از نظر طول عمر برگ در بین ارقام و تاریخ‌های کاشت اختلافی وجود نداشت.

مطالعه جامعی که به بررسی پارامترهای مربوط به طول عمر برگ به‌خصوص در شرایط محیط‌های با دمای بالا پرداخته باشد، انجام نشده است، اگرچه ممکن است تعداد اندکی از پارامترهای آن‌ها، نه به‌صورت جامع، بررسی شده باشند. بنابراین، این مطالعه هدفمند شده است تا به بررسی معادلات و پارامترهای مربوط به طول عمر برگ در ارقام مختلف گندم و بررسی تنوع ژنتیکی در پارامترهای مربوط به طول عمر برگ، بپردازد. اهمیت عمده این معادلات و پارامترهای به‌دست آمده در پیش‌بینی نمو سطح برگ و مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۸۹-۱۳۸۷در مزرعه‌ای در رامهرمز (عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقهٔ شرقی و ارتفاع ۱۵۱ متری از سطح دریا) انجام شد. این منطقه بر اساس آمار بلندمدت ۳۰ ساله دارای متوسط بارندگی سالانهٔ ۳۲۰ میلی‌متر، متوسط تشعشع روزانه ۱۹/۱ مگاژول بر متر مربع در روز و حداکثر و حداقل دمای سالانهٔ به‌ترتیب ۲۷/۱ و ۱۹/۵ درجه سلسیوس می‌باشد. در جدول ۱ برخی پارامترهای هواشناسی در طی دو سال زراعی ۸۹- ۱۳۸۷ نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین ماهیانه حداکثر و حداقل درجه حرارت، تشعشع و مجموع بارندگی ماهیانه رامهرمز در طی سال‌های زراعی ۸۹- ۱۳۸۷

Table 1- Monthly mean maximum and minimum temperature, solar radiation and monthly total rainfall of Ramhormoz during 2008-2010

Month	Maximum temperature (℃)		Minimum temperature (℃)		Radiation (MJ.m^{-2}.day^{-1})		Precipitation (mm)	
	(2008-2009)	(2009-2010)	(2008-2009)	(2009-2010)	(2008-2009)	(2009-2010)	(2008-2009)	(2009-2010)
21 Oct.- 20 Now	17.8	17.9	8.3	8.3	14.0	13.3	21.5	25.2
21 Nov. -20Dec.	15.7	19.4	7.4	9.9	9.9	10.1	84.4	117.1
21 Dec.-20 Jan.	15.9	14.3	6.9	7.0	11.1	9.3	83.2	43.4
21 Jan.-20 Fab	20.9	20.8	11.2	9.0	14.9	14.7	53.0	14.7
21 Fab.-20 March	24.0	31.6	13.0	16.1	15.8	18.7	42.5	21.4
21 March-20 April	31.5	35.5	19.8	20.7	18.5	21.2	20.8	34.9
21 April-20 May	41.3	40.7	26.1	25.9	25.7	26.2	1.5	0.0

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در طی دو سال انجام شد. ارقام مورد بررسی شامل ۱۵ ژنوتیپ گندم بهاره و بینابین (دز، چمران، زاگرس، ویریناک، کویر، اترک، بیات، شیراز، شوا مالد (کرخه)، یاواروس، مرودشت، چناب، اینیا، استار و S78-18) بودند، این ارقام دارای کلاس‌های رسیدگی متنوع هستند و جهت بررسی گسترده‌تر ضرایب و پارامترهای مربوط به تولید و پیری برگ انتخاب شدند. طول کرت‌های آزمایش شش متر و فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و هر کرت شامل شش ردیف خط کاشت بود. فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر بود. همه کرت‌ها در یک تراکم ثابت ۴۰۰ بذر در متر مربع کشت شدند. قبل از کاشت بذرها، با سم کربوکسی تیرام به میزان دو در هزار ضدعفونی شدند. کاشت بذر به‌صورت دستی انجام شد. تاریخ کاشت در سال اول نهم آذر ماه و در سال دوم چهارم آذر ماه بود. چون آزمایش در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی، آفات و علف‌های هرز انجام می‌شد، در مراحل مختلف با توجه به نیاز آبی در مواقع لزوم آبیاری انجام شد.

ثبت مراحل فنولوژیک به روش زادوکس (Zadoks, 1974) هر سه روز یک بار انجام شد. برای ثبت مراحل فنولوژیک از هر رقم در هر کرت، ۱۰ بوته به‌عنوان شاخص ثبت مراحل فنولوژیک تعیین و علامت‌گذاری شدند. در هر کرت و رقم، تاریخی که در آن مراحل فنولوژیک مورد نظر در بیش از ۵۰ درصد بوته‌های علامت‌گذاری شده مشاهده شد؛ به‌عنوان زمان وقوع آن مرحله فنولوژیک برای آن رقم ثبت شد. واحدهای حرارتی روزانه (درجه-روز رشد، GDD[1]) از دمای حداکثر (T_{MAX}) و دمای حداقل روزانه (T_{MIN}) از طریق رابطه (۱) تعیین شدند:

$$GDD=((T_{MIN}+T_{MAX})/2)-T_{base} \quad (۱)$$

که در این پژوهش T_{base}، دمای پایه یا حداقل گندم برای جوانه‌زنی است، با توجه به این‌که ارقام مورد نظر همه ارقام بهاره هستند، و مقدار آن چهار درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (Slafer and Savin, 1991; Slafer and Rawson, 1995; John *et al*., 1999; Schulz *et al*., 2005). در صورتی‌که دمای حداکثر روزانه بیشتر از ۳۰ درجه سلسیوس باشد برابر با ۳۰ و در صورتی‌که دمای حداقل روزانه از چهار درجه سلسیوس کمتر باشد برابر با چهار در رابطه قرار داده می‌شود.

به‌منظور تعیین تعداد برگ‌های سبز، زرد و پیر شده روی ساقه اصلی و کل بوته در مراحل[2] پنجه‌زنی (۴۱ روز)، ساقه‌رفتن (۸۳ روز)، ظهور برگ پرچم (۹۰ روز)، ظهور سنبله (۱۰۳ روز)، شروع گرده‌افشانی (۱۰۵ روز)، تکمیل گرده‌افشانی (۱۱۳ روز) و رسیدگی فیزیولوژیک (۱۴۰ روز) تعداد برگ‌های سبز؛ زرد و پیر شده برای هر رقم در هر سال اندازه‌گیری شدند. تمام اندازه‌گیری‌ها روی نمونه گیاهی شامل ۱۰ بوته که از یک نمونه بزرگ‌تر ۲۰ تایی انتخاب شده بودند، صورت گرفت. یک برگ زمانی زرد و پیر شده در نظر گرفته می‌شد که ۵۰ درصد یا بیشتر از سطح آن زرد شده باشد.

برای به‌دست آوردن طول عمر برگ از یک مدل لجستیک (مدل ۲) به‌صورت زیر در دو مرحله استفاده شد. در مرحله اول به‌وسیله این مدل رابطه بین تعداد کل برگ‌های بوته در برابر درجه-روز رشد به‌دست آمد و در مرحله دوم تغییرات تعداد برگ‌های پیر بوته در برابر درجه-روز رشد مورد بررسی قرار گرفت.

$$y= Amax /[1+exp)-a(x-b))] \quad (۲)$$

که در آن، x درجه-روز رشد تجمعی پس از کاشت، y تعداد کل برگ‌های بوته یا تعداد برگ‌های پیر بوته، Amax حداکثر تعداد برگ‌های بوته، a شیب خط، b درجه-روز رشد تجمعی که در آن تعداد کل برگ‌های تولید شده یا پیر شده در بوته به نصف حداکثر

1- Growing Degree Days

۲- اعداد داخل پرانتز متوسط روز از کاشت تا مرحله مورد نظر در دو سال آزمایش هستند.

خود می‌رسند. تجزیه و تحلیل آماری بر اساس توابع ریاضی بین متغیرهای محیطی و پارامترهای تولید و زوال برگ با استفاده از روش PROC NLIN در برنامه آماری SAS انجام شدند. در مواقع ضروری، از روابط و توابع مناسب برگرفته از گزارش‌های تحقیقاتی منتشر شده استفاده شد (Ghaderi-Far *et al*., 2009; Torabi and Soltani, 2012)، زمانی‌که رابطه مناسبی وجود نداشت رابطه مورد نظر از طریق زیر به‌دست آمد:

(۱) مشاهده منحنی پراکنش بین دو متغیّر مورد نظر، (۲) برازش توابع امیدبخش به داده‌ها و (۳) انتخاب مناسب‌ترین تابع بر اساس سادگی و معیارهای آماری از قبیل ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[3]). بر این اساس به‌منظور ارزیابی نکوئی برازش مدل‌های مختلف، هرچه مقدار RMSE محاسبه شده کمتر و R^2 بیشتر باشد، دقت مدل در پیش‌بینی بیشتر است. R^2 درصد تغییرات در تعداد کل برگ در بوته و تعداد برگ پیر شده در بوته را نشان می‌دهد که به‌وسیله درجه روز رشد توجیه می‌شود؛ هرچه R^2 بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که مدل درصد تغییرات در تعداد کل برگ در بوته و تعداد برگ پیر شده در بوته را به‌وسیله درجه روز رشد بهتر توجیه می‌کند. در صورت امکان، به جای این‌که به تک تک تیمارها معادله جداگانه‌ای برازش داده شود، به کل داده‌ها یا بخشی از داده‌ها یک معادله یکسان برازش داده شد. برای برآورد تفاوت پارامترها بین تیمارها از آماره‌ی خطای معیار (SE[4]) استفاده شد، بر این اساس می‌توان تفاوت دو تیمار یا دو گروه از تیمارها را بررسی کرد. رسم شکل‌ها با برنامه Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

ضرایب حاصل از برازش مدل ۲ به داده‌های تعداد کل برگ و برگ‌های پیر شده در مقابل درجه-روز رشد پس از کاشت در سال اول، که در جدول ۲ ارائه شده است، نشان داد که ارقام گندم در این بررسی از نظر حداکثر تعداد برگ در هر بوته با هم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ داشتند اما از نظر پارامترهای دیگر مدل، تفاوت معنی‌دار بین ارقام مشاهده نشد. همان‌گونه که در جدول ۲ و شکل ۱ (الف) نشان داده شده است ارقام مرودشت، شیراز، استار و لاین S78-18 در مقایسه با ۱۱ رقم دیگر تعداد کل برگ بیشتری در هر بوته تولید نمودند.

همچنین بر اساس جدول ۲ و شکل ۱ (الف) برازش مدل به داده‌های برگ‌های زرد و پیر شده بوته در مقابل درجه-روز رشد نیز نشان داد که ارقام گندم از نظر پارامترهای مختلف مدل با هم اختلاف معنی‌داری ندارند. در چهار رقم مذکور به‌طور متوسط وقتی

1- Root Mean Squares Error
2- Standard Error

۵۲۳/۳ درجه-روز رشد حرارت دریافت کردند تعداد برگ‌های تولید شده خود در بوته را به ۵۰٪ نهایی رساندند و تعداد برگ‌های تولیدی آنها به‌طور متوسط ۲۸/۹ برگ بود، که از این نظر با ۱۱ رقم دیگر که به‌طور متوسط ۲۵/۸ برگ در بوته تولید کردند، تفاوت داشتند. در همه ارقام در سال اول پژوهش به‌طور متوسط پس از گذشت ۹۶۸ درجه-روز رشد پس از کاشت تعداد برگ‌های زرد و پیر شده آن‌ها در بوته به ۵۰٪ مقدار حداکثر خود رسیدند.

جدول۲- پارامترهای مدل برازش داده شده به داده‌های تعداد کل برگ بوته و تعداد برگ پیر بوته در برابر درجه روز رشد پس از کاشت (مدل ۲) برای تعیین طول عمر برگ در ارقام مختلف گندم در سال اول پژوهش. Amax[1] تعداد کل برگ در بوته، a شیب افزایش در تعداد برگ، b_1 و b_2 به‌ترتیب درجه روز رشد که در آن تعداد کل برگ‌های بوته و تعداد کل برگ‌های پیر در بوته به به نصف حداکثر خود می‌رسند، n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، se خطای معیار و CV ضریب تغییرات هستند.

Table 2- Parameters of the model fitted to data of total plant leaf number and plant senesced leaf number vs. Growing degree-days after sowing (see model 2) to determine leaf lifetime for wheat different cultivars at first experiment. Amax, total plant leaf number; a, the steepness of increase in leaf number; b_1 and b_2, GDD when total or senesced leaf number reached to 50% of their maximums, respectively. n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error; SE, standard error and CV, coefficient of variation.

Cultivars	Total leaves							Senesced leaves				
	a±se	b_1±se	Amax ±se	RMSE	CV%	R^2	n	a± se	b_2±se	RMSE	CV%	R^2
Atrak	0.008±0.0040	486.3±92.2	24.1±1.8	2.7	13.6	0.99	6	0.0046±0.0011	945.4±45.1	0.95	8.5	0.99
Bayat	0.007±0.0030	522.8±87.8	27.6±1.2	3.0	13.8	0.99	6	0.0049±0.0011	928.1±44.1	1.1	8.4	0.99
Chamran	0.009±0.0050	478.9±80.8	26.3±1.0	0.2	1.1	0.99	6	0.0046±0.0008	997.7±41.8	0.8	6.8	0.99
Chenab	0.008±0.0015	508.8±39.6	26.8±1.1	1.3	5.9	0.99	6	0.0050±0.0010	975.8±42.0	0.9	7.7	0.99
Dez	0.009±0.0069	476.6±101.0	25.0±1.7	2.7	12.8	0.99	6	0.0052±0.0020	915.6±52.4	1.2	11.1	0.99
Ineia	0.007±.0008	518.4±26.8	26.6±1.1	0.9	4.0	0.99	6	0.0051±0.0010	957.7±41.5	1.0	8.0	0.99
Kavir	0.007±0.0014	546.7±50.5	23.9±1.2	1.5	8.0	0.99	6	0.0047±0.0011	981.2±54.7	1.0	9.4	0.99
Shoa	0.007±0.0013	517.3±42.7	26.0±1.1	1.4	6.6	0.99	6	0.0046±0.0007	1001.1±38.4	0.9	7.6	0.99
Vienak	0.006±0.0006	540.0±24.9	26.5±1.1	0.8	3.9	0.99	6	0.0045±0.0007	1043.3±47.5	0.7	8.5	0.99
Yavarous	0.006±0.0008	554.0±33.9	24.6±1.3	1.0	5.4	0.99	6	0.0046±0.0006	1042.3±36.1	0.8	7.1	0.99
Zagrous	0.007±0.0013	529.7±44.7	29.9±1.3	1.5	6.8	0.99	6	0.0047±0.0007	996.7±37.7	0.8	6.1	0.99
Total data	0.007±0.0005	514.9±15.9	25.8±0.9	1.7	8.1	0.99	66	0.0047±0.0003	983.1±15.5	0.6	7.0	0.99
Marvdasht	0.007±0.0010	528.0±32.2	27.8±1.0	2.2	10.2	0.99	6	0.0051±0.0010	965.5±39.6	0.7	7.0	0.99
S78-18	0.008±0.0010	469.6±26.0	27.2±0.9	1.8	7.7	0.99	6	0.0052±0.0011	950.8±42.7	1.1	5.6	0.99
Shiraz	0.009±0.0090	507.0±20.0	29.8±0.9	1.3	5.6	0.99	6	0.0049±0.0009	942.0±37.2	0.9	6.2	0.99
Star	0.006±0.0005	567.7±20.4	29.2±0.8	1.4	6.2	0.99	6	0.0046±0.0007	1043.8±45.0	0.6	9.8	0.99
Total data	0.007±0.0005	523.3±20.2	28.9±0.8	2.0	8.8	0.99	24	0.0051±0.0006	952.9±23.8	1.5	14.8	0.99

۱- تعداد کل برگ‌های پیر شده بوته ثابت و مشابه حداکثر تعداد کل برگ در بوته در نظر گرفته شد و از تکرار آن در جدول خودداری شد.

ضرایب حاصل از برازش مدل ۲ به داده‌های تعداد کل برگ و برگ زرد و پیر بوته در ارقام گندم در سال دوم پژوهش در جدول ۳ آورده شده است. با برازش این مدل به داده‌ها، در سال دوم پژوهش نیز ارقام از نظر تعداد برگ کل تولیدی در بوته با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. مطابق با جدول ارائه شده برازش مدل به داده‌های تعداد کل برگ در بوته در مقابل درجه-روز رشد نشان داد که ارقام شیراز، مرودشت، استار و لاین S78-18 تعداد برگ بیشتری در بوته تولید نمودند. از نظر سایر پارامترهای مدل، ارقام اختلاف معنی‌دار با هم نداشتند. مقایسه زمان تا رسیدن به ۵۰٪ نهایی تعداد برگ در بوته در دو سال پژوهش نشان داد که در سال دوم بوته‌ها به درجه-روز رشد بیشتری برای رسیدن به این زمان نیاز داشتند، اگرچه اختلاف معنی‌دار بین دو سال مشاهده نگردید (شکل ۱-ب).

جدول ۳- پارامترهای مدل برازش داده شده به داده‌های تعداد کل برگ بوته و تعداد برگ پیر بوته در برابر درجه روز رشد پس از کاشت (مدل ۲) برای تعیین طول عمر برگ در ارقام مختلف گندم در سال دوم پژوهش.Amax تعداد کل برگ در بوته، a شیب افزایش در تعداد برگ، b_1 و b_2 به‌ترتیب درجه روز رشد که در آن تعداد کل برگ‌های بوته و تعداد کل برگ‌های پیر در بوته به به نصف حداکثر خود می‌رسند، n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، se خطای معیار و CV ضریب تغییرات هستند.

Table 3- Parameters of the model fitted to data of total plant leaf number and plant senesced leaf number vs. Growing degree-days after sowing (see model 2) to determine leaf lifetime for wheat different cultivars at second experiment. Amax, total plant leaf number; a, the steepness of increase in leaf number; b_1 and b_2, GDD when total or senesced leaf number reached to 50% of their maximums, respectively. n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error; SE, standard error and CV, coefficient of variation.

Cultivars	Total leaves							Senesced leaves				
	a±se	b_1±se	Amax ±se	RMSE	CV%	R^2	n	a± se	b_2±se	RMSE	CV%	R^2
Atrak	0.008±0.0029	591.2±37.9	23.0±1.1	2.0	11.0	0.99	6	0.0041±0.0010	1196.0±90.2	0.0	14.8	0.99
Bayat	0.006±0.0028	605.4±62.5	24.9±1.8	2.8	14.8	0.99	6	0.0083±0.0013	1000.8±22.0	0.6	8.0	0.99
Chamran	0.007±0.0017	577.9±27.0	24.2±1.3	1.4	7.3	0.99	6	0.0042±0.0014	1173.4±121.8	1.5	21.1	0.99
Chenab	0.008±0.0020	572.3±26.0	23.4±1.2	1.4	7.4	0.99	6	0.0052±0.0020	1035.9±87.6	1.6	21.6	0.99
Dez	0.007±0.0068	560.6±92.5	24.4±2.7	4.7	24.7	0.99	6	0.0068±0.0009	1048.0±24.3	0.6	8.0	0.99
Ineia	0.007±0.0018	548.4±32.9	22.6±1.1	1.6	7.9	0.99	6	0.0053±0.0009	1073.2±40.5	0.8	10.1	0.99
Kavir	0.007±0.0021	608.9±46.9	25.8±1.3	1.9	11.5	0.99	6	0.0066±0.0021	988.8±57.3	1.3	17.7	0.99
Shoa	0.005±0.0008	641.0±28.6	22.0±1.2	1.1	5.8	0.99	6	0.0059±0.0017	1090.2±59.9	0.7	7.8	0.99
Vienak	0.009±0.0034	532.3±34.4	23.7±1.2	2.0	11.0	0.99	6	0.0073±0.0007	965.2±55.4	1.2	16.4	0.99
Yavarous	0.004±0.0006	656.4±33.9	23.8±1.4	0.9	5.4	0.99	6	0.0060±0.0011	1162.3±38.4	0.9	9.1	0.99
Zagrous	0.006±0.0011	612.3±25.0	23.5±1.5	1.0	5.8	0.99	6	0.0055±0.0016	1061.6±69.5	1.3	17.2	0.99
Total data	0.007±0.0007	584.6±12.7	25.5±1.1	1.9	10.1	0.99	66	0.0057±0.0005	1059.7±18.9	1.5	18.0	0.99
Marvdasht	0.005±0.0008	603.0±31.2	27.2±2.2	2.2	11.5	0.99	6	0.0060±0.0008	1036.8±27.3	0.3	5.0	0.99
S78-18	0.008±0.0010	546.1±12.2	27.2±1.3	1.6	7.3	0.99	6	0.0049±0.0013	1071.0±73.6	0.8	11.6	0.99
Shiraz	0.006±0.0009	604.0±21.3	32.1±2.5	2.4	10.1	0.99	6	0.0092±0.0015	1021.6±22.9	1.3	18.2	0.99
Star	0.006±0.0007	603.1±20.2	29.7±1.5	2.0	9.0	0.99	6	0.0053±0.0015	1166.3±71.8	1.7	21.5	0.99
Total data	0.006±0.0006	588.9±32.1	28.5±1.3	3.0	13.7	0.99	24	0.0063±0.0004	1083.3±43.9	2.4	27.7	0.99

برازش مدل ۲ به داده‌های برگ‌های پیر بوته در سال دوم در مقابل درجه-روز رشد نشان داد که ارقام از نظر پارامترهای مدل با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. از آن‌جاکه روند تغییرات تعداد کل برگ و برگ‌های پیر در مقابل درجه-روز رشد در طی دو سال روند تقریباً مشابهی بود و تنها ارقام به لحاظ تعداد کل برگ تولید شده در بوته در دو گروه قرار گرفتند، میانگین ضرایب مدل ۲ برای ارقام در طی ۲ سال در جدول ۴ آورده شده است که بر اساس آن روند تغییرات تعداد کل برگ و برگ‌های پیر شده در مقابل درجه-روز رشد در شکل ۱-ج ترسیم شده است.

جدول ٤- پارامترهای مدل برازش داده شده به داده‌های تعداد کل برگ بوته و تعداد برگ پیر بوته در برابر درجه روز رشد پس از کاشت (مدل ۲) برای تعیین طول عمر برگ در ارقام مختلف گندم در دو سال پژوهش (داده‌های دو سال ادغام شدند). Amax، تعداد کل برگ در بوته، a شیب افزایش در تعداد برگ، b_1 و b_2 به‌ترتیب درجه روز رشد که در آن تعداد کل برگ‌های بوته و تعداد کل برگ‌های پیر در بوته به نصف حداکثر خود می‌رسند، n تعداد مشاهدات، R^2 ضریب تبیین، RMSE جذر میانگین مربعات خطا، se خطای معیار و CV ضریب تغییرات هستند.

Table 4- Parameters of the model fitted to data of total plant leaf number and plant senesced leaf number vs. Growing degree-days after sowing (see model 2) to determine leaf lifetime for wheat different cultivars at two experiment (data were polled in two experiments). Amax, total plant leaf number; a, the steepness of increase in leaf number; b_1 and b_2, GDD when total or senesced leaf number reached to 50% of their maximums, respectively. n, number of observation; R^2, Coefficient of determination; RMSE, Root Mean Squared Error; SE, standard error and CV, coefficient of variation.

Cultivars	Total leaves							Senesced leaves				
	a±se	b_1±se	Amax ±se	RMSE	CV%	R^2	n	a± se	b_2±se	RMSE	CV%	R^2
Atrak	0.008±0.0020	568.9±37.2	23.7±1.0	2.3	12.1	0.99	12	0.0041±0.0016	1082.7±130.8	2.4	27.7	0.99
Bayat	0.007±0.0022	580.1±47.1	26.1±1.4	3.1	14.8	0.99	12	0.0059±0.0018	965.8±55.6	2.0	19.6	0.99
Chamran	0.008±0.0017	557.3±31.2	25.4±0.9	2.1	10.4	0.99	12	0.0044±0.0015	1088.2±108.2	2.4	24.9	0.99
Chenab	0.008±0.0020	562.2±35.6	25.1±1.1	2.4	11.8	0.99	12	0.0048±0.0017	1023.0±88.5	2.4	24.4	0.99
Dez	0.008±0.0033	542.2±55.3	24.2±1.5	3.6	18.0	0.99	12	0.0055±0.0013	992.0±52.5	1.6	17.0	0.99
Ineia	0.007±0.0012	542/1±27.3	25.4±0.8	1.7	8.1	0.99	12	0.0049±0.0012	1028.8±63.5	1.8	17.6	0.99
Kavir	0.007±0.0013	590.6±32.2	23.2±0.9	1.8	9.9	0.99	12	0.0056±0.0015	990.2±56.0	1.7	18.6	0.99
Shoa	0.006±0.0011	592.6±31.0	25.8±1.1	1.8	9.1	0.99	12	0.0049±0.0011	1060.4±61.3	1.7	16.2	0.99
Vienak	0.008±0.0020	538.3±38.4	24.1±1.0	2.4	11.8	0.99	12	0.0052±0.0024	1025.8±113.2	2.5	25.3	0.99
Yavarous	0.005±0.0010	598.83±38.9	23.7±1.1	1.9	10.4	0.99	12	0.0049±0.0012	1123.0±71.3	1.7	14.4	0.99
Zagrous	0.007±0.0016	578.2±38.8	25.3±1.3	2.4	11.8	0.99	12	0.0048±0.0016	1044.7±86.7	1.6	17.3	0.99
Total data	0.007±0.0005	566.5±11.3	24.6±0.8	2.3	11.4	0.99	132	0.0049±0.0004	1035.3±22.4	1.7	16.7	0.99
Marvdasht	0.006±0.0009	568.1±24.1	26.2±1.2	2.8	13.5	0.99	12	0.0053±0.0012	1010.1±53.3	3.0	34.2	0.99
S78-18	0.008±0.0008	537.7±19.2	28.2±1.3	2.0	8.8	0.99	12	0.0047±0.0017	1025.6±96.4	1.7	19.2	0.99
Shiraz	0.007±0.0007	572.5±20.3	31.0±1.2	2.2	8.9	0.99	12	0.0061±0.0013	987.5±39.6	2.3	23.7	0.99
Star	0.006±0.0006	603.4±25.2	29.5±1.5	1.8	7.7	0.99	12	0.0048±0.0010	1117.9±63.9	2.1	21.6	0.99
Total data	0.007±0.0004	567.5±9.9	28.7±1.0	2.7	11.9	0.99	48	0.0053±0.0008	1005.6±201	2.0	19.6	0.99

منحنی‌های به‌دست آمده مربوط به تولید و زوال برگ (سطح محور بین دو منحنی در شکل ۱-الف، ب و ج) طول عمر برگ در بوته را بر حسب درجه-روز رشد نشان می‌دهد. به لحاظ عددی طول عمر تک برگ عبارت از اختلاف بین درجه-روز رشد لازم برای رسیدن تعداد کل برگ در بوته به نصف حداکثر خود (b_1) و درجه-روز لازم برای رسیدن تعداد کل برگ‌های پیر شده در بوته به نصف حداکثر خود می‌باشد ($b=b_2-b_1$).

در جدول ۵ طول عمر تک برگ برای دو سال پژوهش و ارقام مختلف نشان داده شده است. این مشاهده‌ها نشان داد که طول عمر تک برگ در سال اول و دوم پژوهش، اختلاف معنی‌داری بین ارقام نشان نداد. متوسط طول عمر برگ در سال اول و دوم پژوهش به‌ترتیب ۴۶۲/۹ و ۴۸۲/۶ درجه-روز رشد بود.

جدول ۵- طول عمر متوسط برگ در بوته بر حسب درجه روز رشد (اختلاف بین ضرایب b برای تعداد برگ پیر شده (b_2) و تعداد کل برگ بوته (b_1)، (جداول ۲، ۳ و ٤)، برآوردی از متوسط طول عمر برگ بوته (b_2-b_1) است.)

Table 5- Average leaf lifetime based on GDD (The difference between b for senesced leaf number (b_2) and total leaf number (b_1) gives an estimate of average leaf lifetime (b_2-b_1), (tables 2, 3 and 4).

Cultivars	Fist year			Second year			The mean of cultivars between two years		
	b_2	b_1	Leaf lifetime ($b=b_2-b_1$)	b_2	b_1	Leaf lifetime ($b=b_2-b_1$)	b_2	b_1	Leaf lifetime ($b=b_2-b_1$)
Atrak	945.4	486.3	459.1	1196.9	591.2	605.7	1082.7	568.9	513.8
Bayat	928.1	522.8	405.3	1000.8	605.4	395.4	965.8	580.1	385.7
Chamran	997.7	478.9	518.8	1173.4	577.9	595.5	1088.2	557.3	530.9
Chenab	975.8	508.8	467.0	1035.9	572.3	463.6	1023.0	562.2	460.8
Dez	915.6	467.6	448.0	1048.0	560.6	487.4	992.0	542.2	449.8
Ineia	957.7	518.4	439.3	1073.2	548.4	524.8	1028.8	542.1	486.7
Kavir	981.2	546.7	434.5	998.2	608.9	389.9	990.2	590.6	399.6
Marvdasht	965.5	528.0	437.5	1036.8	603.0	433.8	1010.1	568.1	442.0
S78-18	950.8	469.6	481.2	1071.0	546.1	524.9	1025.6	537.7	487.9
Shiraz	942.0	507.0	435.0	1021.6	604.0	417.6	987.5	572.5	415.0
Star	1001.1	517.3	483.8	1090.2	641.0	449.2	1060.4	592.6	467.8
Shoa	1043.8	567.7	476.1	1166.3	603.1	563.2	1117.9	603.4	514.5
Vienak	1043.3	540.0	503.3	965.2	532.3	433.2	1025.8	538.3	487.5
Yavarous	1042.3	554.0	488.3	1162.3	656.4	505.9	1123.0	598.8	524.2
Zagrous	996.7	529.7	467.0	1061.6	612.3	449.3	1044.7	578.2	466.5
Total data	979.1	516.2	462.9	1073.5	590.8	482.6	1037.7	568.9	468.8

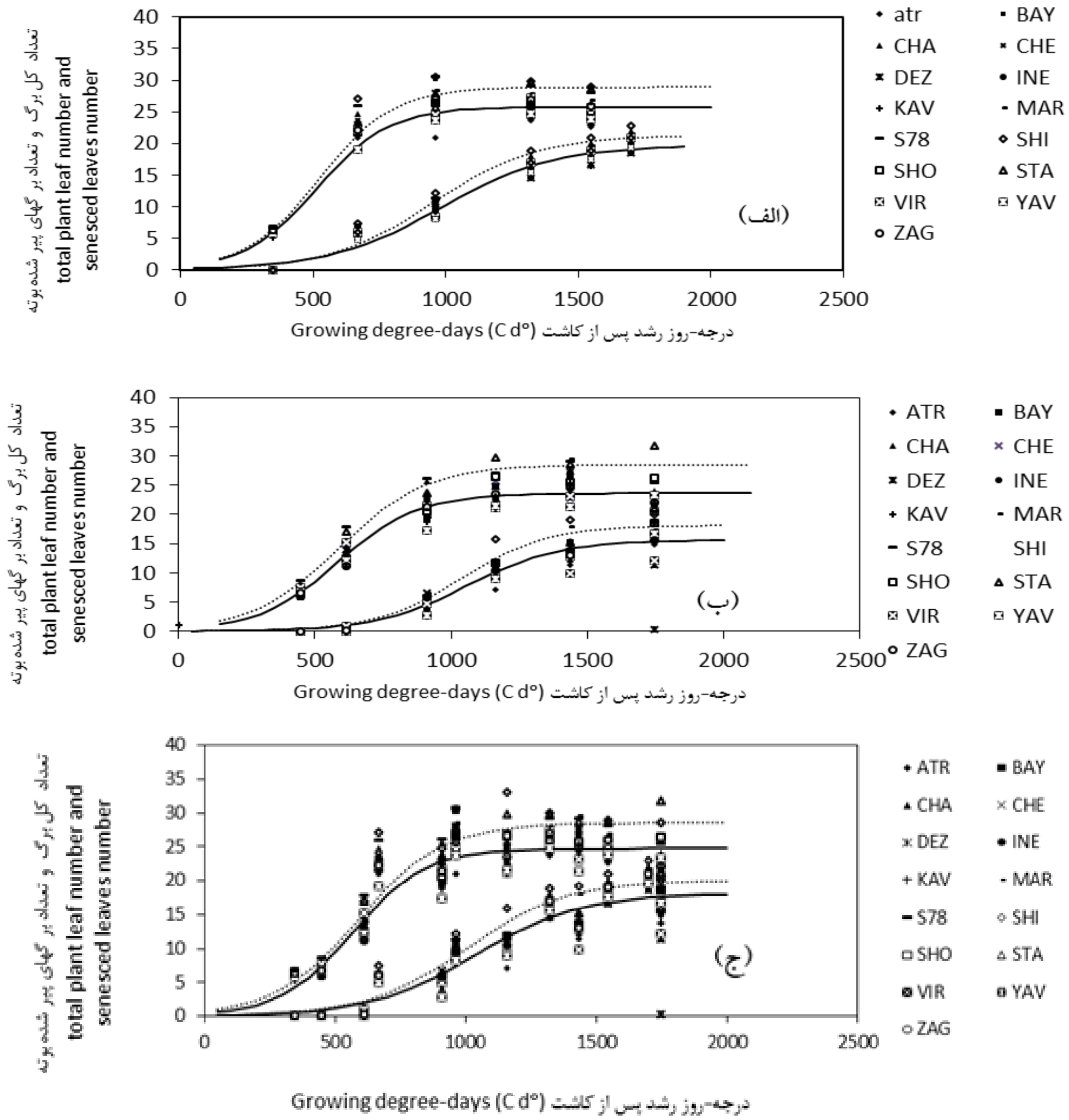
با توجه به مقادیر R^2 بالاتر از ۰/۹۹ هم برای تعداد کل برگ و هم برگ‌های پیر شده، مدل لجستیک توصیف خوبی از تغییرات تعداد برگ در مقابل درجه روز رشد ارائه کرد (جدول ۵). همچنین به دلیل برازش مناسب مدل لجستیک (مدل ۲) به کل داده‌های تولید و پیری برگ، جهت برآورد طول عمر برگ از پارامترهای به‌دست آمده برای کل داده‌ها استفاده شد و از این رو متوسط طول عمر برگ در این ارقام ۴۶۸/۸ درجه-روز رشد به‌دست آمد (جدول ۵، شکل ۱-ج).

درباره‌ی دوره ی زمانی مسن شدن برگ‌های گندم در مزرعه، اطلاعات بسیار اندکی وجود دارد و بیشتر برآوردهای طول عمر برگ به این مشاهده مربوط است که ساقه اصلی گیاه گندم ۵-۳ برگ سبز را حداقل تا زمان گرده‌افشانی نگه می‌دارد که یک برگ در مراحل اولیه رشد، یکی کاملاً توسعه‌یافته و یک تا سه برگ در حال پیرشدن هستند (Wiegand *et al.*, 1981; Hay and Wilson, 1982). مطابق با یافته‌های این پژوهش متوسط فیلوکرون برای ظهور برگ‌های متوالی در ساقه اصلی گندم حدود ۸۴ درجه-روز رشد بود (داده‌ها نشان داده نشدند) که بر این اساس می‌توان گفت متوسط طول عمر تک برگ در ارقام گندم در این پژوهش حدود ۵/۵ فیلوکرون است. سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2006) در گیاه نخود گزارش کردند که از نظر طول عمر برگ در بین ارقام و تاریخ‌های کاشت اختلافی وجود نداشت و میانگین طول عمر برگ در مجموع تاریخ‌ها و تراکم‌های کاشت در پژوهش آنان ۲۳/۵ روز بیولوژیک بود. همچنین آرکین و همکاران (Arkin *et al.*, 1983) گزارش کردند که طول عمر برگ در بین ارقام مختلف سورگوم تفاوتی نشان ندادند. طول عمر بیشتر برگ در گیاه، فتوسنتز بیشتری را در طول حیات گیاه رقم می‌زند و موجب افزایش تولید می‌شود (Abeledo *et al.*, 2004). بنابراین عملکرد گیاه اصولاً بستگی به اندازه، مدت و فعالیت فتوسنتزی اندام‌هایی که پس از ظهور سنبله‌ها هنوز باقی می‌مانند، دارد. در بین عملکرد و شاخص سطح برگ و دوام آن همبستگی بالایی وجود دارد، بدین معنی که هرچه دریافت نور خورشید زیادتر و در مدت زمان بیشتری صورت گیرد تولید ماده خشک و دریافت عملکرد دانه بیشتر خواهد بود (Romas *et al.*, 1983; Royo *et al.*, 2004). ظرفیت فتوسنتزی و طول عمر برگ بازده کل کربن برگ را در طول عمر برگ تعیین می‌کند و می‌تواند روی جریان جذب کربن سایه‌انداز گیاهی اثر بگذارد (Suarez *et al.*, 2010). بنابراین با دانستن طول عمر برگ این امکان وجود دارد تا بتوان حداکثر CO_2 جذب شده یک گیاه را برآورد نمود (Kitajima *et al.*, 2002). به‌طور کلی طول عمر برگ به‌عنوان یک استراتژی تکاملی در نظر گرفته شده تا جذب کربن برگ و گیاه را در شرایط مختلف به حداکثر برساند (Suarez *et al.*, 2010). یک وابستگی متقابل قوی بین طول عمر برگ، سرعت فتوسنتز خالص و محتوای نیتروژن برگ، سطح ویژه برگ (SLA) و دسترسی به منابع وجود دارد (Ritch *et al.*, 1992). این ایده که طول عمر برگ یک مکانیزم ذخیره مواد غذایی است که کارآیی مصرف مواد غذایی یا جذب بلندمدت کربن را بهبود می‌بخشد توسط محققان زیادی پذیرفته شده است. پیش‌بینی ظهور و پیری برگ یک قسمت مهم از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است زیرا ظهور و پیری برگ تنها در رابطه با زمان‌بندی مراحل فنولوژیکی مشخص نیست بلکه در رابطه با گسترش سطح برگ است که برای جذب نور، تجمع ماده خشک و عملکرد دانه با اهمیت است (McMaster, 2005). اهمیت سطح برگ در تعیین سرعت رشد محصول از دیرباز شناخته شده است، زیرا جذب تابش خورشیدی در غلات عمدتاً توسط پهنک برگ‌ها به‌عنوان اصلی‌ترین اندام فتوسنتزکننده گیاه انجام می‌شود، از این رو بررسی نمو سطح برگ به دلیل اثرات مستقیم و غیر مستقیم آنها به‌ویژه بر عملکرد دانه ضروری به نظر می‌رسد (Maria *et al.*, 2008). نمو سطح برگ شامل ظهور برگ‌های جدید، گسترش برگ‌هایی که به تازگی ظهور کرده‌اند و پیری برگ‌های مسن می‌باشد (Ranganathan *et al.*, 2001). روش‌های گوناگونی برای پیش‌بینی سطح برگ گیاه وجود دارد که شامل متدهایی که با ظهور، گسترش و پیری برگ‌های منفرد سرکار دارند (Hofestra *et al.*, 1997) تا روش‌هایی که سطح برگ را در سطح کل بوته یا مزرعه پیش‌بینی می‌کنند (Sinclair, 1984)، می‌باشند. برخی از محققان از روش‌های حد واسط این دو دسته استفاده می‌کنند (Rabertson *et al.*, 2002)، بنابراین برای شبیه‌سازی پیش‌بینی مساحت سطح برگ در دسترس برای جذب تابش خورشیدی، لازم است عواملی که تولید برگ، تعداد برگ، اندازه برگ، زوال برگ و طول عمر برگ را تعیین می‌کنند، شناخته شود. آگاهی از تفاوت‌های موجود بین ارقام در خصوصیات برگ می‌تواند در اصلاح نباتات، مدیریت گیاه زراعی و مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گندم مفید باشد.

نتیجه‌گیری

مفهوم طول عمر برگ در بعضی از مدل‌های شبیه سازی گیاهان زراعی برای کمّی کردن پیری برگ بعد از رسیدن زمان حرارتی به یک حد معین به‌کار رفته است (Rickman *et al.*, 1996). کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی؛ که رشد، کارآیی مصرف آب و عملکرد گیاهان زراعی را پیش‌بینی می‌کنند، درک واکنش گیاهان زراعی به پویایی سیستم‌های آب-گیاه و اقلیم است، تا به برآورد صفات فیزیولوژیک برای بهبود عملکرد ژنتیکی و کمک به تصمیم‌گیری بهتر در استفاده از منابع قابل‌دسترس بپردازند (Sinclair Seligman, 1996: Hamer *et al.*, 1998). بر اساس نتایج حاصل شده از این پژوهش متوسط طول عمر برگ بر اساس واحدهای حرارتی ۴۶۸/۸ درجه روز رشد بود. این نشان می‌دهد در شرایط مطلوب از نظر حرارت، یک برگ به‌طور متوسط به میزان ۴۶۸/۸

درجه روز رشد دوام دارد. متوسط فیلوکرون (فاصله زمانی بین ظهور دو برگ روی ساقه اصلی) در ارقام مورد مطالعه در این پژوهش برابر با ۸۴ درجه روز رشد بود (داده‌ها نشان داده نشدند) که بر این اساس می‌توان گفت متوسط دوام برگ‌های ارقام مورد مطالعه حدوداً ۵/۵ فیلوکرون بوده است. این مطالعه تولید و پیری برگ را تحت شرایط آبیاری مطلوب توصیف می‌کند و همچنین این روابط اثرات میزان دسترسی به کربن و نیتروژن و انتقال مجدد را نشان نمی‌دهد، بنابراین روابط دیگری برای پیش‌بینی این اثرات مورد نیاز هستند تا ثبات و پویایی این پارامترهای را تحت شرایط مختلف محیطی مشخص نمایند.



شکل ۱- برازش مدل لجستیک (مدل ۲) به کل تعداد برگ در بوته و برگ‌های پیر شده در بوته برای تعیین میانگین طول عمر برگ در ارقام مختلف گندم (atr: اترک، bay: بیات، cha: چمران، che: چناب، dez: دز، ine: اینیاء، kav: کویر، mar: مرودشت، S78: لاین S78-18 ، shi: شیراز، sho: شوا مالد (کرخه)، sta: استار، vir: ویریناک، yav: یاواروس و zag: زاگرس) در سال اول پژوهش (الف)، سال دوم پژوهش (ب) و متوسط ارقام مختلف در ۲ سال پژوهش (ج). (خطوط منقطع واکنش ارقام مختلف مرودشت، شیراز، استار و لاین S78-18 و خطوط ممتد واکنش سایر ارقام را نشان می‌دهند.)

Figure 1- The model fitted to data of total plant leaf number and plant senesced leaf number vs. Growing degree-days after sowing (see model 2) to determine leaf lifetime for wheat different cultivars at first year of experiment(a), second year of experiment (b) and average of different cultivars at two years of experiments. (Broken line is related to marvdasht (mar), shiraz (Shi), star (sta) and S78-18 cultivars and solid line indicates response of other cultivars.)

References

1. Abeledo, L. G., Calderini, D. F., and Slafer, G. A. 2004. Leaf appearance, tillering and their coordination in old and modern barleys from Argentinia. Field Crops Research 86: 23-32.
2. Arkin, G. F., Rosenthal, W. D., and Jordan, W. R. 1983. A *sorghum* leaf area model. American Society of Agricultural Engineers 25 *pp*.
3. Benbella, M., and Paulsen, G. M. 1998. Efficacy of treatments for delaying senescence of wheat leaves: II. Senescence and grain yield under field conditions. Agronomy Journal 90: 332-338.
4. Ghaderi-Far, F., Soltani, A., and Sadeghipour, H. R. 2009. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo convar*. Pepo var styriaca), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.) to temperature. Journal of Plant Production 16: 1-19. (in Persian).
5. Hammer, G. L. 1998. Crop modeling: Current status and opportunities to advance. Acta Horticulture 456: 27-36.
6. Hay, R. K. M., and Wilson, G. 1982. Leaf appearance and extension in field-grown winter wheat plants: the importance of soil temperature during vegetative growth. Journal of Agricultural Science 99: 403-410.
7. Hofstra, G., Hesketh, J. D., and Myhre, D. L. 1977. A plastochron model for soybean leaf and stem growth. Canadian Journal of Plant Science 57: 167-175.
8. John, R., Porter, J. R., and Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. European Journal of Agronomy 10 (2): 23-36.
9. Lizaso, J. I., Batchelor, W. D., and Westgate, M. E. 2003. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. Field Crops Research 80: 1-17.
10. Kitajima, K., Mulkey, S.S., Samaniego, M., and Wright, S. J. 2002. Decline of photosynthetic capacity with leaf age and position in two tropical pioneer tree species, Journal of Botany 89 (12): 1925-1932.
11. MCMaster, G. S. 2005. Phytomers, phyllochrons, phenology and temperate cereal development. Journal of Agricultural Science 143: 137-150.
12. Maria, B., Garcia, F., Xavier, P., and Johan, E. 2008. Life span correlates with population dynamics in perennial herbaceous plants. American Journal of Botany 95 (2): 258-262.
13. Ranganathan, R., Chamhan, Y. S., Flower, D. J., Robertson, M. J., Sanetra, C., and Silim, S. N. 2001. Predicting growth and development of pigeonpea: leaf area development. Field Crops Research 69: 163-127.
14. Rickman, R.W., Waldman, S. E., and Klepper, B. 1996. MODWht3: A development-driven wheat growth simulation. Agronomy Journal 88: 176-185.
15. Reich, P. B., Walters, M. B., and Ellsworth, D. S. 1992. Leaf Life-Span in Relation to Leaf, Plant, and Stand Characteristics among Diverse Ecosystems. Ecological Monographs 62 (3): 365-392.
16. Robertson, M. J., Carberry, P. S., Huth, N. R., Turpin, J. E., Probert, M. E., Poulton, P. L., Bell, M., Wright, G. E., Yeates, S. J., and Brinsmead, R. B. 2002. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. Australian journal of Agricultural Research 53: 429-446.
17. Romas, J. M., Gareiadel Moral, L. F., and Reelade, L. 1983. Dry matter and leaf area relationship in winter barley. Agronomy Journal 75: 308-310.
18. Royo, C., Aparicio, N., Blanco, R., and Villagas, D. 2004. Leaf and green development of durum wheat enotypes grown under Mediteranian conditions. Europian Journal of Agronomy 32: 11-20.
19. Schulz, E. D., Beck, E., and Hohenstein, K. M. 2005. Plant Ecology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
20. Sinclair T. R., Gilbert, R. A., Perdomo R. E., Shine, J. M., Powell, G., and Montes, G. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Research 88: 171-178.
21. Sinclair, T. R. 1984. Leaf area development in field-grown soybeans. Agronomy Journal 76: 141-146.
22. Sinclair, T. R., Gilbert, R. A., Perdomo, R. E., Shine junior, J. M., Powell, G., and Montes, G. 2004. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. Field Crops Research 88: 171-178.
23. Sinclair, T. R., and Seligman, N. G, 1996. Crop modeling: from infancy to maturity. Agronomy Journal 88: 698-704.
24. Slafer, G. A., and Rawson, H. M. 1995. Photoperiod× temperature interactions in contrasting wheat genotypes time to heading and final leaf number. Field Crops Research 44: 73-83.
25. Slafer, G. A., and Savin, R. 1991. Developmental Base Temperature in Different Phenological Phases of Wheat (*Triticum aestivum*). Journal of Experimental Botany 42 (241): 1077-1082.
26. Soltani, A., Hammer, G. L., Torabi, B., Robertson, M. J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. Field Crops Research 99: 1-13.
27. Suarez, N. 2010. Leaf lifetime photosynthetic rate and leaf demography in whole plants of Ipomoea pes-caprae growing with a low supply of calcium, a 'non-mobile' nutrient N. Journal of Experimental Botany 61 (3): 843-855.
28. Torabi, B., and Soltani, A. 2012. Quantifying emergence response to temperature of chickpea. Journal of Crop Production 6: 109-119. (in Persian).

29. Wiegand, C. L., Gerbermann, A. H., and Cuellar, J. A. 1981. Development and duofhard red winter wheats under semitropical conditions. Agronomy Journal 73: 29-37.
30. Yoshida, H., Horie, T., Katsura, K., and Shiraiwa, T. 2007. A model explaining genotypic and environmental variation in leaf area development of rice based on biomass growth and leaf N accumulation. Field Crops Research 102: 228-238.
31. Zadoks, J. C., Chang, T. T., and Konzak, C. F. 1974. Decimal code for the growth stages of cereals. Weed Research 14: 415-422.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 4, Winter. 2020, p. 527-536

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص. ۵۳۶-۵۲۷

Quantifying Leaf Development in Different Wheat Cultivars: Leaf Lifetime

J. Pourreza[1*], A. Soltani[2]

Received: 18-05-2018
Accepted: 10-07-2019

Introduction

A major component in a crop growth model is leaf area development, which has crucial influence on photosynthesis and transpiration. Leaf area development involves the appearance of new leaves, expansion of the newly emerged leaves and senescence of old leaves. Modeling leaf growth has been extensively studied in many crops including cereals. Methods of predicting leaf area development are diverse from those dealing with the individual component processes of leaf growth, viz., leaf appearance, leaf expansion and leaf death to the models predicting leaf growth at the whole plant or whole crop levels. The concept of leaf lifetime is used in some crop simulations models to quantify the aging of the leaves after reaching thermal time to a certain amount. There is very little information about wheat aging time in the field, and most estimates of leaf lifetime are related to this observation that says on the main stem of wheat, at least 3 to 5 green leaves remains until pollination; one leaf is in the early stages of development, another leaf is completely developed and one to three leaves are aging. Quantitative information regarding leaf area development in wheat especially in environmental conditions with high temperatures for the purpose of crop modeling is scarce. Furthermore, genotypic variations have not been evaluated. Therefore, the goal of this research was to determine parameters related to leaf lifetime in wheat cultivars in warm environmental conditions.

Materials and Methods

The aim of this study was to quantify leaf lifetime of 15 different wheat cultivars. Two field experiments with 15 wheat cultivars (Atrak, Bayat, Chamran, Chenab, Dez, Ineia, Kavir, Marvdasht, Shiraz, S78-18, Yavaroos and shova-Mald) were conducted at the research farm of the Islamic Azad University of Ramhormoz Branch, south-western of Iran during 2008-9 and 2009-10 using a randomized complete block design with four replications. To determine leaf lifetime, a logistic model (Amax/[(1+exp)-a(x-b)]) was used in two stages. At first phase, changes in total plant leaf number versus growing degree days was determined, then, changes in plant senesced leaf number versus growing degree days were investigated.

Results and Discussion

The results indicate that the average of leaf lifetime based on growing degree days was 468.8 C d^{o}. This conclusion shows at optimum condition in terms of temperature, on average, a leaf lasts 468.8 C d^{o}. The average of phyllochron (the interval time between the sequential emergence of leaves on the main stem of a plant) was 84 C d^{o} in studied cultivars, upon which, the average of leaf lifetime in cultivars was 5.5 phyllochron. Hence, knowing the differences among hybrids in leaf area attributes may be useful in plant breeding, crop management and in wheat growth modeling.

Conclusions

Based on the results, there were no significant differences between wheat cultivars in terms of parameters related to leaf lifetime on stem. The relationships presented in this study describe leaf lifetime under well-watered condition and reflect the effects of carbon and nitrogen availability and remobilization under these conditions. However, they do not account for the effects of shortage of carbon, nitrogen or water on leaf development. Other relationships are required to predict these effects.

Keywords: Growing degree days, Leaf area, Modeling, Senesced leaves, Total plant leaf number

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Rmhormoz branch, Islamic Azad University, Ramhormoz, Iran
2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran
(*- Corresponding Author Email: j_pourreza@iauramhormoz.ac.ir)